



# **Miradas a la investigación arquitectónica: construcción, gestión, tecnología**

---

**Architectural research findings: building  
construction, management, technology**



**Miradas a la investigación arquitectónica:  
construcción, gestión, tecnología**

*Architectural research findings:  
building construction, management, technology*

11-13 Junio de 2014  
Madrid, Spain



## **I CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS**

**MADRID, 11-13 DE JUNIO DE 2014**

### **ORGANIZADO POR**

Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

### **COMITÉ ORGANIZADOR**

Alfonso García Santos, *Director del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid*

F. Javier Neila González, *Subdirector del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid*

Consuelo Acha Román, *Secretaria del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid*

### **COMITÉ CIENTÍFICO**

Jesús Anaya, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Enrique Azpilicueta, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

María del Mar Barbero-Barrera, *Profesora Universidad Politécnica de Madrid, España*

João Manuel Carvalho, *Profesor de la Universidade de Lisboa, Portugal*

Servando Chinchón, *Profesor de la Universidad de Alicante, España*

Albert Cuchi, *Profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña, España*

Jesús Feijó, *Profesor de la Universidad de Valladolid, España*

Juan Ramón Fernández Torres, *Profesor Universidad Complutense de Madrid, España*

Nelson Flores Medina, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Susana Hernando, *Profesora de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Antonio Humero Martín, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Anna Mavrogianni, *Profesora de la University College of London, Reino Unido*

Francesca Olivieri, *Profesora de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Ignacio Oteiza, *Investigador del ICC Eduardo Torroja - CSIC, España*

Maria Federica Ottone, *Profesora de la Università degli Studi di Camerino, Italia*

Javier Pinilla Melo, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Gema Ramírez Pacheco, *Profesora de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

David Sanz Arauz, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Juan José Sendra, *Profesor de la Universidad de Sevilla, España*

### **RESPONSABLES DE LA EDICIÓN**

María del Mar Barbero-Barrera, *Profesora Universidad Politécnica de Madrid, España*

Francesca Olivieri, *Profesora de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

Javier Pinilla Melo, *Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España*

### **RESPONSABLE DE LA PÁGINA WEB**

Susana Hernando, *Profesora Universidad Politécnica de Madrid, España*

### **SECRETARÍA DEL CONGRESO**

Concepción Calvo, *Universidad Politécnica de Madrid, España*



I CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS  
MADRID, 11-13 DE JUNIO DE 2014

PATROCINADORES







Este libro ha sido sometido a un proceso de revisión anónima por pares.

*This book has been submitted to an international blind, peer-reviewed process.*

**Miradas a la investigación arquitectónica: construcción, gestión, tecnología**  
***Architectural research findings: building construction, management, technology***  
Editado por: M.M. Barbero-Barrera, F. Olivieri & J. Pinilla-Melo

© 2014 Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

**ISBN: 978-84-617-0504-7**

Primera edición





## **LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS CONSTRUIDOS: UNA PROPUESTA DE INDICADORES PARA SU EVALUACIÓN Y UN MODELO DE CERTIFICACIÓN**

**Autores: J.F. Maciá (1), M.J. Peñalver (1), F. Segado (1) y G. Ramírez (2)**

(1) Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Arquitectura e Ingeniería de la Edificación. Autor de contacto: [juanfco.macia@upct.es](mailto:juanfco.macia@upct.es)

(2) Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura

### **RESUMEN**

El estudio consiste en una reflexión teórica sobre el método para cuantificar el grado de sostenibilidad de los sistemas contruidos. Dada la complejidad del tema los objetivos son dos: por un lado, se pretende divulgar una propuesta válida de indicadores y establecer su relación con los principios básicos de la sostenibilidad urbana; y, por otro lado, se propone un modelo de calificación parcial y final de los sistemas contruidos para obtener su futura certificación.

La conclusión extraída más importante es que es más relevante evaluar la sostenibilidad del sistema construido a nivel territorial que a nivel edificatorio, puesto que el concepto "desarrollo sostenible" está relacionado con la globalidad del medioambiente, la interacción económica-social de sus agentes y la tecnología aplicada en cada caso.

**Palabras clave:** sostenibilidad; sistemas contruidos, indicadores; calificación; certificación.

### **1 INTRODUCCIÓN**

Desde que se acuñó el concepto de "sostenibilidad o desarrollo sostenible" son numerosas las referencias realizadas al mismo desde múltiples ámbitos, disciplinas y áreas de conocimiento. Esto quiere decir, que se trata de un concepto complejo, de carácter multidisciplinar y que no responde a un único parámetro o unidad de medida para su evaluación. Cualquier desarrollo sostenible presenta las siguientes dimensiones: la medioambiental, la económica, la social e, incluso, la institucional [1].

Por otro lado, un sistema se define como un conjunto de elementos físico-químicos que interaccionan. Si entre los elementos hay organismos biológicos al sistema se le podrá llamar ecosistema. Independientemente de su forma, proporción o tamaño, una ciudad, un barrio, un edificio o una vivienda constituyen ecosistemas contruidos.

Se puede hablar de la sostenibilidad de los edificios, entendiéndolos como objetos contruidos aislados en el territorio pero se estaría abordando la cuestión de una forma parcial, excluyente y nada realista. Por lo tanto, es primordial estudiar la sostenibilidad de los edificios dentro de un medio urbano.

Para abordar el estudio de la sostenibilidad en el mundo de la arquitectura se debe comenzar profundizando en ciertos principios cualitativos para, que una vez enunciados y consensuados, puedan ser traducidos a valores cuantitativos. La primera parte parece que está ya resuelta pero donde más hay por hacer es en la segunda. Se trata de establecer una serie de indicadores o descriptores que ayuden a medir, controlar y corregir el grado de sostenibilidad en los sistemas contruidos, así como de proponer instrumentos válidos para su evaluación, calificación y certificación final.

## **2 SOSTENIBILIDAD. DE LOS PRINCIPIOS CUALITATIVOS A LOS VALORES CUANTITATIVOS**

Un sistema construido sostenible, ciudad o edificio, no debe explotar recursos a un ritmo superior a su regeneración o sustitución, ni producir unos niveles de contaminación por encima de su asimilación natural. Además, debe satisfacer las necesidades de sus habitantes, recurriendo a sus propias infraestructuras y capacidad de carga.

La realidad es que los sistemas urbanos están lejos del cumplimiento de este objetivo ecológico, debido fundamentalmente al crecimiento de la población urbana, al proceso de urbanización generalizado y a un modelo económico que fomenta la desigualdad entre colectivos y es competitivo en el consumo de recursos.

Existe a nivel institucional la necesidad de promover un desarrollo urbano más inteligente, sostenible y socialmente más integrado [2] y [3]. Se trata de fomentar un nuevo urbanismo, el ecológico, tanto en los nuevos desarrollos como en los existentes fundamentado en la eficiencia del sistema urbano (recursos/energía) y en la creación de escenarios de calidad, saludables para las personas y los organismos que allí viven (habitabilidad urbana).

### **2.1 Los ejes del modelo de ciudad sostenible [4]**

El modelo urbano que mejor se ajusta a los principios de eficiencia y habitabilidad urbana es la ciudad compacta en su morfología, compleja en su organización, eficiente en su metabolismo o flujos de entrada/salida y cohesionada socialmente [2]. Los postulados del urbanismo ecológico quedan, por tanto, adaptados a los cuatro objetivos básicos del urbanismo sostenible: la compacidad y funcionalidad, la complejidad, la eficiencia metabólica y la cohesión social.

#### **2.1.1 La compacidad y funcionalidad**

Atiende a la realidad física del sistema urbano y a las soluciones formales adoptadas: la densidad edificatoria, la distribución de usos espaciales, el porcentaje de espacio verde o de viario. Determina la proximidad entre usos y funciones urbanas. También se define el modelo de movilidad y el espacio público, que junto con la red de equipamientos y espacios verdes son los principales elementos de la vida social y de relación.

#### **2.1.2 La complejidad urbana**

Atiende a la organización urbana, al grado de mixticidad de usos y funciones implantadas. Es el reflejo de las interacciones que se establecen en la ciudad entre los agentes organizados, también llamados personas jurídicas (actividades económicas, asociaciones, equipamientos e instituciones). La complejidad está ligada a una cierta mezcla de orden y desorden, y a la aplicación del concepto diversidad. Se demuestra la madurez del sistema urbano y la riqueza del capital económico, del capital social y del capital biológico.

#### **2.1.3 La eficiencia metabólica**

Está relacionado con el metabolismo urbano, es decir, con los flujos de materiales, agua y energía (recursos y residuos), que constituyen el soporte de cualquier sistema urbano para mantener su organización y evitar ser contaminado. En este caso es fundamental el uso eficiente de los recursos naturales para no perturbar los ecosistemas, la combinación de medidas de ahorro y eficiencia energética con las soluciones de generación que tiendan a

la autosuficiencia, la gestión integrada de los recursos hídricos y de los residuos, un modelo sostenible de gestión de residuos que reduzca el impacto contaminante, la producción local de alimentos a abastecer al sistema, etc.

#### 2.1.4 La cohesión social

Hace referencia a las personas que habitan el espacio urbano y las relaciones o intercambios que se establecen entre ellas. Se debe entender los sistemas urbanos como un motor de crecimiento económico y de progreso social y como un espacio de desarrollo democrático, para lo cual hay que garantizar el equilibrio y la estabilidad social, proteger la diversidad cultural y conservar la calidad del medio urbano. La mezcla (de culturas, edades, rentas, profesiones) tiene un efecto estabilizador, ya que supone un equilibrio entre los diferentes actores del sistema.

## 2.2 Los ámbitos temáticos del urbanismo ecológico

Los ejes del modelo de ciudad sostenible y los principios básicos del urbanismo ecológico confluyen en una serie de ámbitos temáticos, que se conciben como líneas estratégicas para poder analizar, evaluar y actuar. En la tabla 1 se representan los 8 ámbitos temáticos que intervienen en la sostenibilidad de los sistemas construidos.

Ámbitos temáticos	
00	Contexto de la actuación urbanística
<b>Compacidad y funcionalidad</b>	
01	Ocupación del suelo
02	Espacio público y habitabilidad
03	Movilidad y servicios
<b>Complejidad</b>	
04	Complejidad urbana
05	Espacios verdes y biodiversidad
<b>Eficiencia</b>	
06	Metabolismo urbano
<b>Cohesión</b>	
07	Cohesión social
	08

Tabla 1. Los 8 Ámbitos temáticos. Relación con los 4 ejes o principios básicos. [4]

Cabe destacar el carácter transversal del último ámbito temático, Gestión y gobernanza, pudiendo interactuar con cualquiera de los demás.

## 2.3 Los indicadores del urbanismo ecológico

Los objetivos del modelo de ciudad sostenible y los del urbanismo ecológico se concretan en una serie de criterios y medidas que adoptan la forma de indicadores.

Los indicadores son un medio de simplificar una realidad compleja centrándose en ciertos aspectos relevantes, de manera que queda reducida a un número manejable de parámetros. Se suelen utilizar para tres propósitos: a) suministrar información sintética para poder y evaluar las dimensiones de los problemas; b) establecer objetivos; y c) controlar el cumplimiento de los objetivos [1], [5], [6], [7] y [8].

La propuesta de indicadores a aplicar y que puede servir como punto de partida para la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas urbanos construidos se recoge en la tabla 2 y se encuentran clasificados según los anteriores ámbitos temáticos [4].

8 ÁMBITOS TEMÁTICOS	20 SUBÁMBITOS TEMÁTICOS	52 INDICADORES
Objetivo 1: Compacidad y funcionalidad		
01. OCUPACIÓN DEL SUELO	Intensidad de uso	Densidad de viviendas
		Compacidad absoluta
02. ESPACIO PÚBLICO Y HABITABILIDAD	Estructura del espacio público	Compacidad corregida
		Espacio de estancia por habitante
	Habitabilidad del espacio público	Calidad del aire
		Confort acústico
		Confort térmico
		Accesibilidad del viario
		Espacio viario destinado al peatón
		Proporción de la calle
Percepción visual del verde urbano		
03. MOVILIDAD Y SERVICIOS	Configuración de la red	Modo de desplazamiento de la población
		Proximidad a redes de transporte alternativo al automóvil
	Funcionalidad	Espacio viario peatonal
	Servicios e infraestructuras	Proximidad a aparcamiento para bicicletas
		Aparcamiento para automóviles fuera de calzada
		Dotación de plazas de aparcamiento para vehículos
Dotación de plazas de aparcamiento para bicicletas		
Movilidad y actividad	Autocontención laboral	
Objetivo 2: Complejidad		
04. COMPLEJIDAD URBANA	Diversidad	Diversidad urbana
		Equilibrio entre actividad y residencia
		Proximidad a actividades comerciales de uso cotidiano
	Actividades densas en conocimiento	
	Funcionalidad	Continuidad espacial y funcional de la calle
05. ESPACIOS VERDES Y BIODIVERSIDAD	Estructura del verde urbano	Índice biótico del suelo
		Espacio verde por habitante
		Proximidad simultánea a espacios verdes
	Conectividad	Densidad de arbolado
		Corredores verdes urbanos
Objetivo 3: Eficiencia		
06. METABOLISMO URBANO	Energía	Demanda energética en el sector residencial
		Demanda energética en el sector terciario y equipamiento
		Demanda energética en el espacio público
		Consumo energético
		Autosuficiencia energética a partir de energías renovables
	Atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero
	Agua	Consumo de agua potable para usos urbanos
		Autosuficiencia hídrica en usos urbanos para agua no potable
	Residuos	Generación de residuos
		Recogida separada bruta
		Proximidad a puntos de recogida de residuos
Proximidad a un punto limpio		
Cierre del ciclo de la materia orgánica		
Objetivo 4: Cohesión		
07. COHESIÓN SOCIAL	Mezcla social	Índice de envejecimiento de la población
		Población extranjera
		Índice sintético de desigualdad social
	Equipamientos	Dotación de equipamientos
		Proximidad a equipamientos
	Vivienda	Dotación de vivienda protegida
Distribución espacial de la vivienda protegida		
08. GESTIÓN Y GOBERNANZA	Participación	Participación ciudadana en los procesos urbanos
	Gestión	Instrumentos de gestión transversal de los procesos urbanos a través de la administración local
		Instrumentos de gestión territorial y temporal de los procesos urbanos

Tabla 2. Propuesta de 52 indicadores. Clasificación de los indicadores por ámbitos temáticos y su relación con los objetivos del urbanismo sostenible. [4]

### 3 UN MODELO DE CERTIFICACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD URBANA

Una vez aceptada la propuesta de indicadores, 52 en este caso, entendiéndolos como variables medibles y cuantificables que responden a unos objetivos mínimos o deseables a perseguir para garantizar la sostenibilidad, un posible modelo de su certificación se estructuraría en dos fases, según lo reflejado en la tabla 3.

Fase 0 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE INDICADORES			Fase I EVALUACIÓN POR PUNTOS Y PONDERACIÓN		Fase II CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN
4+1 EJES MODELO SOSTENIBLE	8 ÁMBITOS TEMÁTICOS	52 INDICADOR ES	Sistema de puntos (10 puntos máximos a alcanzar por indicador)		Tabla de equivalencias (5 categorías o niveles: A, B, C, D y E)
La <b>compacidad y funcionalidad</b> urbana	01. OCUPACIÓN DEL SUELO	2 indicadores	20	Peso del eje: 20% ... puntos sobre 190 ... % alcanzado (sobre el 20%)	<b>EJE 1</b> Calificación parcial: A, B, C, D ó E
	02. ESPACIO PÚBLICO Y HABITABILIDAD	9 indicadores	90		
	03. MOVILIDAD Y SERVICIOS	8 indicadores	80		
La <b>complejidad</b> urbana	04. COMPLEJIDAD URBANA	5 indicadores	50	Peso del eje: 20% ... puntos sobre 100 ... % alcanzado (sobre el 20%)	<b>EJE 2</b> Calificación parcial: A, B, C, D ó E
	05. ESPACIOS VERDES Y BIODIVERSIDAD	5 indicadores	50		
La <b>eficiencia</b> metabólica	06. METABOLISMO URBANO	13 indicadores	130	Peso del eje: 20% ... puntos sobre 130 ... % alcanzado (sobre el 20%)	<b>EJE 3</b> Calificación parcial: A, B, C, D ó E
La <b>cohesión</b> social	07. COHESIÓN SOCIAL	7 indicadores	70	Peso del eje: 20% ... puntos sobre 70 ... % alcanzado (sobre el 20%)	<b>EJE 4</b> Calificación parcial: A, B, C, D ó E
La <b>organización institucional</b>	08. GESTIÓN Y GOBERNANZA	3 indicadores	30	Peso del eje: 20% ... puntos sobre 30 ... % alcanzado (sobre el 20%)	<b>EJE 5</b> Calificación parcial: A, B, C, D ó E
<b>EJES DEL MODELO URBANO + GESTIÓN</b> <b>Calificación final</b>  <i>Eje1 + Eje2 + Eje3 + Eje4 + Eje5 = 520 puntos como máximo (52 indicadores)</i>					<b>Excelente (A): ≥90%</b> <b>Notable (B): ≥ 70-89%</b> <b>Suficiente (C): ≥ 50-69%</b> <b>Insuficiente (D): ≥ 25-49%</b> <b>Muy insuficiente (E): &lt; 25%</b>

Tabla 3. Descripción del modelo de Certificación. Resumen del proceso: aplicación de los indicadores, del sistema de puntos y su ponderación, y la obtención de la calificación final. [Elaboración propia]

La primera fase de evaluación consistiría en la puntuación y ponderación (según los ejes básicos del modelo sostenible) del sistema urbano a partir de la aplicación de un sistema de puntos (10 puntos máximos a alcanzar por indicador si se cumple el objetivo deseable y 5 puntos si se cumple el objetivo mínimo). Cada eje del modelo sostenible tiene asociado un número diferente de indicadores clasificados por ámbitos temáticos, pero un peso idéntico en el cómputo final. Los datos a tener en cuenta serían: *peso del eje (20%)*, *los puntos obtenidos sobre el total alcanzable por eje (10 x nº de indicadores)* y *el % alcanzado (sobre el peso del eje)*.

La segunda fase de calificación y certificación consistiría en el sumatorio de todos los porcentajes parciales obtenidos en la etapa anterior y operar con la siguiente tabla de equivalencias, donde se establecen 5 categorías o niveles de sostenibilidad: A, B, C, D y E

## 4 CONCLUSIONES

1ª. La relación existente entre los principios básicos del modelo de ciudad sostenible y los indicadores propuestos, permite garantizar la aceptación y validez de éstos últimos.

2ª. La propuesta metodológica planteada, para evaluar y certificar la sostenibilidad de los sistemas contruidos, constituye un instrumento de ayuda para medir, controlar y corregir el nivel de sostenibilidad en los sistemas contruidos.

3ª. Resulta más coherente evaluar la sostenibilidad de los sistemas contruidos a nivel territorial que a nivel edificatorio, puesto que el concepto "desarrollo sostenible" está relacionado con la globalidad del medioambiente, la interacción económica-social de sus agentes y la tecnología aplicada en cada caso.

## 5 REFERENCIAS

- [1] <http://portalsostenibilidad.upc.edu/>
- [2] [https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/C312A772-7347-40A6-A207-722665ECE9A6/111530/6\\_declaracion\\_Toledo.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/C312A772-7347-40A6-A207-722665ECE9A6/111530/6_declaracion_Toledo.pdf)
- [3] [https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/9BC567F2-1AD6-46D1-8A07-17EE0BD64269/111500/LeipzigCharte\\_Es\\_cle139ba4.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/9BC567F2-1AD6-46D1-8A07-17EE0BD64269/111500/LeipzigCharte_Es_cle139ba4.pdf)
- [4] S. Rueda y otros. *Guía metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano*. Publicación Ministerio de Fomento, España, 2012.
- [5] [http://www.fongdcam.org/manuales/sostenibilidad/datos/index\\_2.html](http://www.fongdcam.org/manuales/sostenibilidad/datos/index_2.html)
- [6] L. Escobar. *Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas*. Artículo en EURE, Santiago, España, 2006
- [7] M. E. Pino. *Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental y urbana en las agendas 21 local y ecoauditorias municipales. El caso de las regiones urbanas europeas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Construcciones Arquitectónicas, España, 2002.
- [8] J.M. Castro. *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía*. Tesis doctoral, Universidad de Málaga. Departamento de Economía Aplicada, España, 2002.